

## شناسایی گونه‌های سنگی با بهره‌گیری از مفهوم واحدهای جریان آبی و پخش آن توسط همانندسازی شاخص متوالی، در مخزن سورمه بالایی (عرب) در یکی از میدان‌های نفتی جنوب ایران

فریبا عبدی<sup>۱</sup>، محمدرضا کمالی<sup>۲\*</sup>، سیدمحسن آل‌علی<sup>۳</sup> و علی کدخدایی<sup>۴</sup>

۱ و ۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران

۲- پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۴- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز

نویسنده مسئول: Kamalimr@ripi.ir

دریافت: ۹۸/۱/۲۴ پذیرش: ۹۸/۷/۲۲

### چکیده

شناسایی ویژگی‌های مخزن نقش کلیدی در پژوهش برنامه‌های مدیریت و توسعه بهینه میدان‌های هیدروکربنی دارد. برای داشتن دیدی کلی از مخزن مورد بررسی، شناسایی ویژگی‌های پتروفیزیکی مانند گونه‌های سنگی مخزن بسیار کارآمد است. روش‌های گوناگونی برای شناسایی گونه‌های سنگی در راستای تقسیم‌بندی سنگ‌های مخزن به نواحی جداگانه ارائه شده است که پایه بسیاری از آن‌ها داده‌های تخلخل و تراوایی است. یکی از این روش‌ها روش شاخص زون جریان FZI برای شناسایی واحدهای جریان آبی (HFU) است. در این بررسی گونه‌های سنگی ناپیوسته DRT بر پایه واحدهای جریان آبی شناسایی شد و با بهره‌گیری از همانندسازی شاخص متوالی، ساختار فضایی آن و پخش احتمالی این پارامتر در شبکه سه بعدی مخزن، بررسی گردید. سرانجام، پنج گونه سنگی ناپیوسته شناسایی شد که گونه‌های سنگی DRT3 و DRT4 دارای بهترین کیفیت مخزنی و گونه‌های سنگی DRT1 و DRT2 و DRT5 دارای پایین‌ترین کیفیت مخزنی است. در بُرش طولی مخزن مورد بررسی، در بخش میانی، DRT3 گسترش بیش‌تری دارد که نشان‌دهنده کیفیت مخزنی بهتری در این بخش از مخزن نسبت به دیگر بخش‌ها است. در بُرش عرضی، در بخش جنوبی و باختری DRT3 و DRT4 با کیفیت مخزنی بالا گسترش دارند ولی در بخش مرکزی و خاوری مخزن در این بُرش، گونه‌های سنگی با کیفیت مخزنی پایین‌تری دیده می‌شود. نیاز به گفتن است که مدل‌های ساخته شده، با دقت بالایی پخش پراکندگی گونه‌های سنگی را در مخزن مورد بررسی نشان می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص زون جریان، واحدهای جریان آبی، گونه‌های سنگی ناپیوسته، همانندسازی شاخص متوالی

### ۱- پیشگفتار

است. شناسایی گونه‌های سنگی پتروفیزیکی در مخازن یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی برای حفاری، تولید و تزریق موفق، بررسی‌ها و همانندسازی مخزن است (میرزایی پیامن و همکاران، ۲۰۱۸) گونه‌های سنگی نشان‌دهنده چگونگی پخش و پراکندگی پارامترهای پتروفیزیکی و عامل مهمی برای توصیف مخازن در مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی است (اسکالینسکی و کنتز، ۲۰۱۴).

شناسایی گونه‌های سنگی فرآیند اختصاص دادن ویژگی‌های مخزن به رخساره‌های زمین‌شناسی است. در گونه‌های سنگی ویژگی‌های جریان و ذخیره‌سازی سیال است که اهمیت دارد. بنابراین ممکن است دو رخساره در یک گونه سنگی رده‌بندی شوند و یا یک رخساره به دو گونه سنگی تقسیم‌بندی گردد.

ایران با داشتن ۹/۳٪ نفت قابل استحصال و ۱۸/۲٪ گاز قابل برداشت جهان دارایی رتبه نخست از نظر مجموع ذخایر هیدروکربنی قابل بهره‌برداری در جهان است. مخازن کربناته ایران با توجه به پیچیدگی‌های مخزنی و زمین‌شناسی، ویژگی‌های مخزنی ویژه‌ای دارند که مدیریت و توسعه بهینه این مخازن، بررسی جامع و همه جانبه آن‌ها را ضروری می‌کند. برای گسترش موثر یک میدان نفتی توصیف یکپارچه مخزن ضروری است که برای تحقق این کار بررسی و شناسایی ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ مخزن مانند شناسایی گونه‌های سنگی ناپیوسته، بسیار کارآمد است. شناسایی گونه‌های سنگی بر پایه ویژگی‌های پتروفیزیکی و زمین‌شناسی از مهم‌ترین اهداف در بررسی مخازن

از روش‌های رایج برای شناسایی گونه‌های سنگی می‌توان به روش‌های: واحدهای جریان آبی، واحدهای جریان الکتریکی، روش لوسیا، روش‌های وینلند و پیتمن، روش آرچی، روش باکلز، نمودار لورنز و رخساره‌های الکتریکی اشاره نمود. بهره‌گیری از روش‌های هوشمند در کنار این روش‌ها در شناسایی گونه‌های سنگی و بررسی ویژگی‌های مخزن کمک موثری می‌نماید (کدخدایی، ۱۳۹۷). در این بررسی با بهره‌گیری از مفهوم واحدهای آبی جریان (HFU)<sup>۱</sup> گونه‌های سنگی در سازند سورمه بالایی (عرب) شناسایی و برای بررسی پخش فضایی این پارامتر از روش همانندسازی شاخص متوالی<sup>۲</sup> (SIS) بهره‌گیری شد.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

مخزن مورد بررسی در این پژوهش، یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی خلیج فارس است. حوضه خلیج فارس از دید منابع هیدروکربنی، سرشارترین حوضه هیدروکربنی جهان است که تقریباً ۶۰ درصد نفت جهان و ۴۰ درصد ذخایر گاز جهان را دربردارد. این حوضه در محدوده‌ای از خشکی‌های خاور عراق، جنوب و جنوب‌باختر ایران، خاور عربستان و سواحل امارات متحده عربی، قطر، بحرین و کویت قرار گرفته و دارای شمار زیادی از میدان‌های نفتی و گازی است (خداوینی، ۱۳۹۱).

پلت‌فرم کربناته ناحیه خلیج فارس در طی دوران ژوراسیک و کرتاسه به دلیل سرشاری بالای منابع هیدروکربنی از اهمیت بسیاری برخوردار است. به طور کلی سازندهای ژوراسیک در خلیج فارس دارای پتانسیل نفتی بالایی هستند چرا که این سازندها شامل سنگ‌های منشاء خوب و سنگ مخزن‌های سنگ‌آهک با تراوایی و تخلخل بالا هستند است که در زیر پوش سنگ‌های عالی قرار گرفته‌اند. وجود ساختارهای چین‌خورده در این سازندها، انباشت عظیم منابع هیدروکربنی را ممکن ساخته است (ربانی، ۱۳۹۲).

سکانس رسوبی ژوراسیک در شمال خلیج فارس از دو رخساره متفاوت ساخته شده است. این رخساره‌ها می‌توانند به دو واحد عمده تقسیم شوند:

مفهوم گونه‌های سنگی نخستین بار توسط آرچی (۱۹۵۰) ارائه شد و به واحدهای سنگی از مخزن گفته می‌شود که به دلیل داشتن تاریخچه رسوبی و دیاژنزی یکسان دارای ویژگی‌های مخزنی (رابطه تخلخل- تراوایی، فشار موئینه و درجه اشباع آب) مشابهی در بالای سطح آب آزاد مخزن هستند (گانتر و همکاران، ۱۹۹۷). شناسایی گونه‌های سنگی در آغاز بر پایه بررسی مغزه و سنگ‌نگاری در مخازن ماسه‌سنگی بود (پوراس و همکاران، ۱۹۹۹؛ داویس و همکاران، ۱۹۹۶). در پژوهش‌های انجام شده بعدی (آپلین و همکاران، ۲۰۰۲؛ علی ناندلال و گانتر، ۲۰۰۳؛ آکوستا و همکاران، ۲۰۰۵؛ راشینگ و همکاران، ۲۰۰۸) مبنای شناسایی گونه‌های سنگی بر پایه پارامترهای تخلخل، تراوایی، اشباع آب، نشانگر زون جریان، مفاهیم رخساره الکتریکی و شناسایی ویژگی‌های سیستم منافذ بوده است.

از تازه‌ترین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در ایران می‌توان به پژوهش انجام شده توسط قره‌چلو و همکاران، (۲۰۱۸) اشاره نمود که در این بررسی، گونه‌های سنگی جهت زون‌بندی در مخزن کربناته-آواری آسماری، شناسایی شدند. از دیگر پژوهش‌ها می‌توان به بیرانوند و کمالی (۲۰۰۴)؛ تقوی و همکاران (۲۰۰۷)؛ رحیم‌پور بناب و همکاران (۲۰۱۲)؛ دوستی ایرانی و همکاران (۱۳۹۴)؛ ایگدر (۱۳۹۴)؛ سلیمانی و همکاران (۱۳۹۵) اشاره نمود. در پژوهش‌های انجام شده پیش‌تر به موضوع شناسایی گونه‌های سنگی برپایه واحدهای جریان آبی از روش‌های مختلف در مخازن هیدروکربنی پرداخته شده است.

در این پژوهش، پس از شناسایی واحدهای جریان آبی در مخزن مورد بررسی از دو روش آنالیز هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال، گونه‌های سنگی ناپیوسته شناسایی گردید که با مدل‌سازی سه‌بعدی، ساختار فضایی این پارامترها در شبکه سه‌بعدی مخزن و در هریک از سلول‌های شبکه‌بندی مخزن و در هر یک از زون‌های مخزن بطور جداگانه شناسایی شد که برای پیش‌بینی گسترش و پخش تعبیرات این پارامترها در سراسر مخزن حتی در مناطقی که داده کافی در دسترس نمی‌باشد برای درک بهتر و دقیق‌تر از ساختار، ژرفا و گسترش لایه‌های مخزنی و شناسایی بهترین مکان‌ها برای حفاری و تولید هیدروکربن مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرد.

<sup>1</sup> Hydraulic Flow Unit

<sup>2</sup> Sequential Indicator Simulation

۱- نهشته‌های محیط خشکی و حد واسط خشکی تا رسوبات آب‌های کم ژرفا

۲- رسوبات دریای آزاد (سازند سورمه)

سازند سورمه بالایی به عنوان یک توالی کلاسیک کربناته یکی از سازندهای مخزنی بزرگ نفتی در ایران و خاورمیانه است که به عنوان یک سازند اکتشافی مهم در خلیج فارس مورد توجه است. بخش بالایی سازند سورمه، هم‌ارز سازند عرب در کشورهای عربی با مخازن نفتی بزرگ، به ویژه در خلیج فارس محسوب می‌شود (ربانی، ۱۳۹۲). در میدان مورد بررسی بخش بالایی این سازند

U.A.E./Qatar				Iran		Lithology
Period	Epoch	Group	Rock Unit	Group	Rock Unit	
Cretaceous	Lower	Thamama	Shuaiba	Khami	Dariyan	
			Zubair		Gadvan	
			Upper Buwaib		Fahliyan	
			Lower Buwaib (B1-B3)		Hith	
			Yamama		Surmeh	
			Sulaiy			
Jurassic	Upper	Araej	Hith			
			Upper Arab (U1-U8)			
			Lower Arab (L1-L2)			
			Darb			
			Diyab			
			Upper Araej			
Middle			Uwainat			
			Lower Araej			
			Izhara			
Lower			Marrat			

شکل ۱. ستون چین‌شناسی مخزن مورد بررسی (بیگی و همکاران، ۲۰۱۷)

### ۳-۱- شناسایی گونه‌های سنگی

امروزه روش‌های بسیار مختلفی برای شناسایی گونه‌های سنگی گسترش یافته است. گاهی این روش‌ها به قدری با مفاهیم زون‌بندی یا لایه‌بندی مخزن (مانند Flow Unit و Speed Zone) ادغام می‌شوند که جدایی آن‌ها را دشوار می‌سازد. ولی بایستی خاطر نشان کرد که گونه‌های سنگی می‌تواند اجزاء سازنده واحدهای جریان‌ی باشد. شناسایی یک گونه سنگی آرمانی شامل تمام ویژگی‌های زمین‌شناسی، مخزن و نمودارهای نگار در فواصل مخزنی است که این واحد آرمانی می‌تواند به صورت سه‌بعدی (3D) پخش شود. تمام روش‌ها سعی بر کاهش ناهمگنی مخزن برای درک رفتار مخزن در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی دارد (شکل ۲) (توکلی، ۲۰۱۸).

### ۳-۲- داده‌ها و روش بررسی

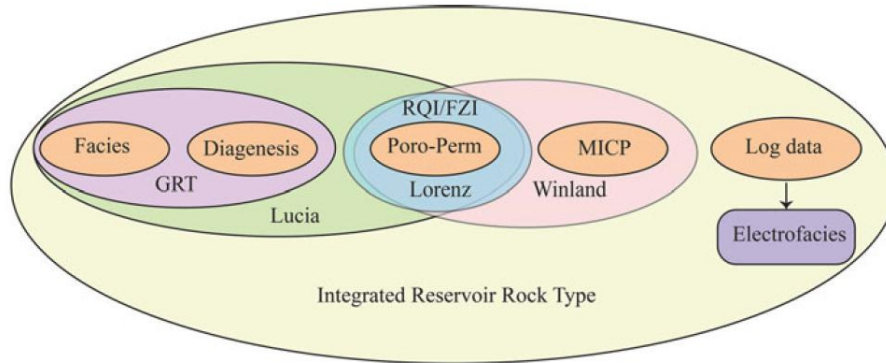
طی این بررسی با بهره‌گیری از یافته‌های نمونه‌های مغزه (تخلخل و تراوایی) مربوط به ۶ حلقه چاه (۱۹۵ نمونه) و نگاره‌های چاه شامل نگاره نوترون، صوتی، چگالی و گاما، گونه‌های سنگی مخزن با بکارگیری روش نشانگر زون جریان<sup>۱</sup> شناسایی شد. در این روش با رسم نمودار احتمال نرمال و آنالیز هیستوگرام نشانگر زون جریانی (FZI) شمار پنج گونه‌سنگی پتروفیزیکی (DRT<sup>۲</sup>) برای مخزن سورمه بالایی شناسایی و با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آماري (همانندسازی شاخص متوالی<sup>۳</sup>)، پخش آن، توسط نرم‌افزار پترل<sup>۴</sup> به صورت سه‌بعدی بررسی شد.

<sup>1</sup> Flow Zone Index (FZI)

<sup>2</sup> Discrete Rock Typing

<sup>3</sup> Sequential indicator Simulation (SIS)

<sup>4</sup> PETREL



شکل ۲. ارتباط میان روش‌های شناسایی گونه‌های سنگی (توکلی، ۲۰۱۸)

پیش‌بینی از سایر حجم سنگ مخزن است که با بهره‌گیری از روش نشانگر زون جریانی (FZI) برپایه رابطه ۱ مشخص می‌شود (ای‌بانکس، ۱۹۸۷؛ آموفوله و همکاران، ۱۹۹۳؛ اسوریو، ۲۰۰۹). نشانگر زون جریانی خود تابعی از پارامتر شاخص کیفیت مخزنی<sup>۲</sup> (RQI) است (رابطه ۲) که تقریبی از میانگین شعاع آبی در سنگ مخزن است (آموفوله و همکاران، ۱۹۹۳؛ عباس‌زاده و همکاران، ۱۹۹۶). پایه واحدهای جریانی آبی بر پایه تخلخل و تراوایی است. تراوایی نه فقط به تخلخل وابسته است بلکه به فاکتورهایی از جمله: هندسه فضای خالی، پراکندگی اندازه دانه‌ها، واحد سطح ویژه، ضریب پیچاپیچی و اشباع سیال و دیگر عوامل وابسته است.

$$FZI = \frac{RQI}{\Phi_z} \quad (1)$$

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\phi}} \quad (2)$$

K: تراوایی (میلی‌داری)،  $\Phi$ : تخلخل (درصد)،  $\Phi_z$ : نسبت پوکی<sup>۳</sup>

با لگاریتم گرفتن از رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$\text{Log}(RQI) = \text{Log}(FZI) + \text{Log}(\Phi_z) \quad (3)$$

با شناسایی پارامترهای RQI و FZI که به گلوگاه منافذ وابسته هستند واحدهای جریانی برپایه مقادیر FZI جدا می‌شوند و می‌توانند مخزن را به گونه‌های سنگی پتروفیزیکی جداگانه تقسیم کند به گونه‌ای که به هر واحد جریانی آبی یک مقدار FZI اختصاص داده شود (ال‌عجمی و هلدیش، ۲۰۰۰).

شناسایی گونه‌های سنگی برپایه روش واحدهای آبی جریان بر مبنای فیزیک جریان در مقیاس منافذ و پارامترهای زمین‌شناسی است (باقری‌پور، ۲۰۱۱). واحدهای آبی جریان برای مشخص کردن گروه‌های سنگی<sup>۱</sup> و نیز جدا کردن بخش‌های با کیفیت مخزنی بالا از بخش‌های با کیفیت مخزنی پائین و حتی بخش‌های غیر مخزنی بهره‌گیری می‌شود. با بهره‌گیری از این روش می‌توان به ارتباط واحدهای جریانی با کمربندهای رخساره ای و همچنین چگونگی کنترل آن‌ها بر کیفیت و رفتار مخزن پی برد (خداویسی، ۱۳۹۱).

روابط تخلخل و تراوایی می‌تواند در چارچوب واحدهای آبی جریان و برای شناخت سنگ‌های مخزنی ناهمگن به کار گرفته شود (مصدق، ۱۳۹۵). روش‌های پتروفیزیکی شناسایی گونه‌های سنگی بیش‌تر بر پایه داده‌های تخلخل و تراوایی ( $k/\phi$ ) و فشار موئینه (Pc) است. از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین این روش‌ها شناسایی گونه‌های سنگی به روش نشانگر زون جریان (FZI) است که به روش‌های گوناگون (DRT, Histogram Analysis, ...) می‌توان واحدهای سنگی را از هم جدا نمود. برای جدایی گونه‌های سنگی از روش‌های آماری و ریاضی مختلفی بهره‌گیری می‌شود (Histogram Analysis, Error analysis, Log FZI vs. Depth, Probability Plot) که توسط عباس‌زاده و همکاران (۱۹۹۶) مرور شده است. از مهم‌ترین روش‌های جدایش گونه‌های سنگی روش FZI است. هر واحد جریانی آبی، حجمی از سنگ مخزن است که در آن ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیک که جریان سیال را زیر تاثیر قرار می‌دهند، یکسان و قابل

<sup>2</sup> Reservoir Quality Index

<sup>3</sup> Void Ratio

<sup>1</sup> Rock Type

بهره‌گیری می‌شود. روش همانندسازی شاخص متوالی ساده و انعطاف‌پذیر است. در این روش هر پارامتر به طور جداگانه بررسی می‌شود و داده‌های محاسبه شده‌ای که فقط در محل چاه‌ها وجود داشتند در درون تمامی سلول‌های یک شبکه سه بعدی قرار خواهند گرفت.

یکی از رایج‌ترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی سه‌بعدی مخزن، نرم‌افزار پترل محصول شرکت شلمبرژه است که با تلفیق داده‌های مخزن یک مدل جامع ارائه می‌نماید. در این روش یک شبکه سلول‌بندی شده متناسب با مخزن ایجاد می‌شود که به عنوان قالب اصلی مدل، امکان تلفیق همزمان داده‌های مختلف به منظور ساخت مدل را فراهم می‌نماید (شلمبرژه، ۲۰۰۸).

#### ۴- واکاوی یافته‌ها

در این بررسی با بهره‌گیری از داده‌های تخلخل و تراوایی بدست آمده از شش حلقه چاه مخزن سورمه بالایی (سازند عرب) در آغاز متغیرهای  $Q_z$ ،  $RQI$ ،  $FZI$  برای هریک از نمونه‌های مورد بررسی در نرم‌افزار اکسل (EXCEL) محاسبه شد.

برای شناسایی شمار و جدایی واحدهای جریان آبی از دو روش آنالیز هیستوگرام<sup>۱۰</sup> و نمودار احتمال نرمال<sup>۱۱</sup> بهره‌گیری شد.

۴-۱- آنالیز هیستوگرام: در روش هیستوگرام پخش لگاریتم شاخص زون جریان  $(\log(FZI))$  برای هر واحد جریان آبی به صورت پخش نرمال است. در واقع هر پخش نرمال در نمودار هیستوگرام نشان‌دهنده‌ی یک دسته داده‌ی منحصر به فرد است (غلامی، ۱۳۹۵؛ عباس‌زاده و همکاران، ۱۹۹۶). در این پژوهش با توجه به شاخص زون جریان  $(FZI)$  محاسبه شده برای تمامی داده‌های تخلخل و تراوایی، با رسم نمودار هیستوگرام لگاریتم شاخص زون جریان در نرم‌افزار اکسل، شمار پنج واحد جریان آبی شناسایی شد (شکل ۳).

۴-۲- نمودار احتمال نرمال: برپایه اصول واحدهای جریان آبی، آنالیز احتمال نرمال لگاریتم شاخص زون جریان در هر واحد جریان آبی به صورت پخش خطی است. لذا برپایه خطوط مشخص شده می‌توان شمار واحدهای جریانی را مشخص نمود. به عبارت دیگر، در

متغیر پیوسته  $FZI$  را برای بهره‌گیری آسان‌تر در مدل‌سازی می‌توان برپایه فرمول زیر به متغیر ناپیوسته گونه‌های سنگی تبدیل نمود، گونه‌های سنگی ناپیوسته (DRT) مفهوم دیگری در تحلیل و آنالیز گونه‌های سنگی به ویژه در همانندسازی و پیش‌بینی رفتار مخازن است (عابدینی، ۲۰۱۱؛ سوخال، ۲۰۱۶).

$$DRT = \text{Round}.[2\ln(FZI) + 10.6] \quad (4)$$

شناسایی یک گونه سنگی آرمانی شامل تمام ویژگی‌های زمین‌شناسی، مخزن و نمودارهای نگار در فواصل مخزنی است که این واحد آرمانی می‌تواند به صورت سه‌بعدی (3D) پخش شود.

#### ۳-۲- مدل‌سازی و همانندسازی گونه‌های سنگی

زمین‌آمار در گستره‌ی وسیعی به عنوان روشی برای همانندسازی بهره‌گیری می‌شود و در کاربردهای مختلف مهندسی (به ویژه همانندسازی مخزن) مورد توجه است. روش‌های مدل‌سازی و همانندسازی متغیرها به دو دسته کلی قطعی<sup>۴</sup> و تصادفی<sup>۵</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند که تفاوت این دو روش در چگونگی بهره‌گیری از پارامترها و جواب خروجی‌هاست (امین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

در روش‌های قطعی، فقط یک خروجی از مدل‌سازی ارائه می‌شود و در روش‌های تصادفی با هر بار اجرا بر روی یک سری داده ثابت، جواب‌های مختلفی به دست می‌آید که احتمال وقوع آن‌ها با هم برابر است (ال‌بروانی و همکاران، ۲۰۰۰؛ امین‌زاده و همکاران ۱۳۹۲).

همانندسازی سه‌بعدی با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آماري به لحاظ ایجاد تحقق‌های<sup>۶</sup> متعدد از مخزن که در آن‌ها تغییرات متغیرها به خوبی نمایش داده می‌شود، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای توصیف مخزن و تهیه مدل سه‌بعدی از آن است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۲). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های کریجینگ<sup>۷</sup>، روش همانندسازی گوسی ترتیبی<sup>۸</sup> (SGS) و روش همانندسازی شاخص متوالی<sup>۹</sup> (SIS) اشاره نمود. در این بررسی برای مدل‌سازی گونه‌های سنگی ناپیوسته از همانندسازی شاخص متوالی (SIS) در نرم‌افزار پترل

<sup>4</sup> Deterministic

<sup>5</sup> Stochastic

<sup>6</sup> Realization

<sup>7</sup> Kriging

<sup>8</sup> Sequential Gaussian Simulation

<sup>9</sup> Sequential indicator Simulation

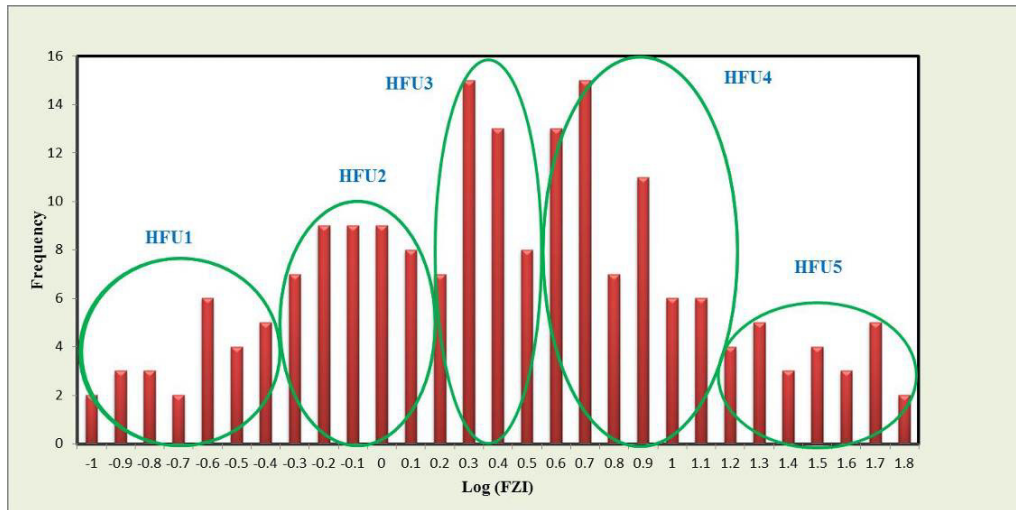
<sup>10</sup> Histogram Analysis

<sup>11</sup> Normal Probability Plot

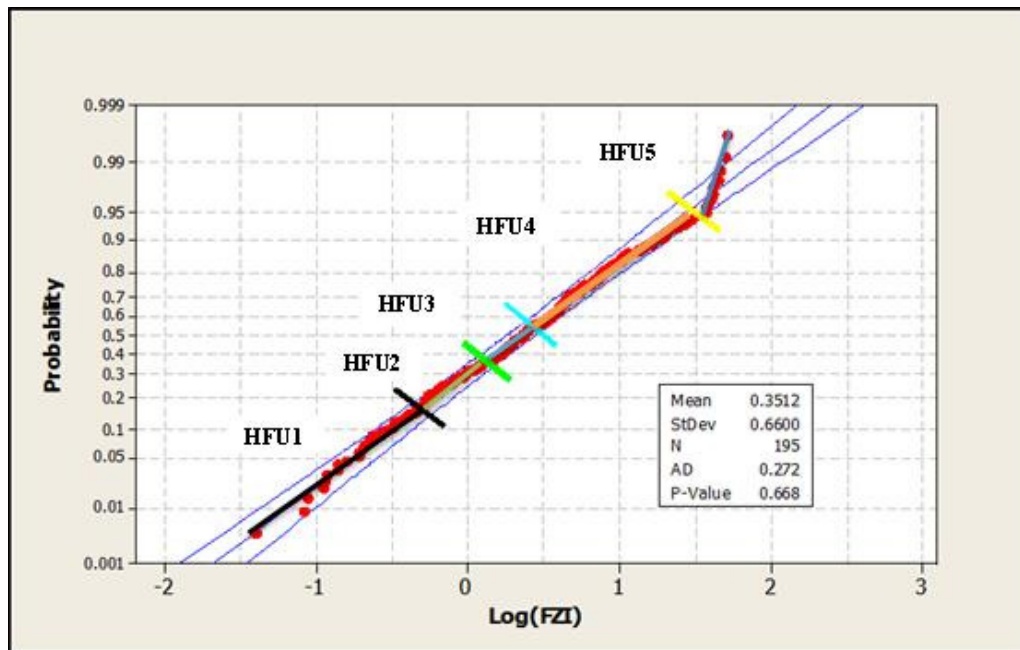
در این بررسی، پس از رسم نمودار احتمال نرمال لگاریتم شاخص زون جریان در نرم‌افزار MINITAB برپایه نقاط شکست منحنی، پنج واحد آبی جریان شناسایی گردید (شکل ۴).

روش آنالیز نرمال به دلیل آسانی شناسایی خطوط مستقیم نسبت به روش هیستوگرام از دقت بیشتری برخوردار است.

این نمودار هر پخش نرمال یک خط مستقیم مجزا را تشکیل می‌دهد (تیاب و دونالدستون، ۲۰۱۵). در این روش، آنالیز احتمال نرمال بر روی داده‌های لگاریتم شاخص زون جریان با رسم نمودار فراوانی تجمعی شاخص زون جریان در مقابل لگاریتم آن انجام می‌گیرد. با رسم این نمودار، شمار بهینه‌ی واحدهای آبی جریان برپایه شناسایی نقاط شکستگی که مرزهای واحدهای آبی جریان است و تغییر شیب روی نمودار مشخص می‌گردد (غلامی، ۱۳۹۵؛ ایگدر، ۱۳۹۴).



شکل ۳. آنالیز هیستوگرام بر روی داده‌های لگاریتم نشانگر زون جریان



شکل ۴. نمودار احتمال نرمال نشانگر زون جریانی و جدایی واحدهای آبی جریان

شناسایی کننده تراوایی نسبی برای هر نمونه و مشخص کننده چگونگی حرکت سیالات در هر فابریک سنگی است (گومز و همکاران، ۲۰۰۸).

سپس نمودار تراوایی برپایه تخلخل برای گونه‌های مختلف سنگی رسم شد که گونه‌های سنگی از دید کیفیت مخزنی مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۵).

در واقع هر گونه سنگی ناپیوسته دارای محدوده مشخصی به لحاظ مقادیر تخلخل و تراوایی بر روی نمودار است که در ارتباط با ویژگی‌های سیستم حفره‌ای است که خود زیر تاثیر ویژگی‌های بافتی و دیاژنزی حاکم با آن گونه سنگی است (کخدایی، ۱۳۹۵).

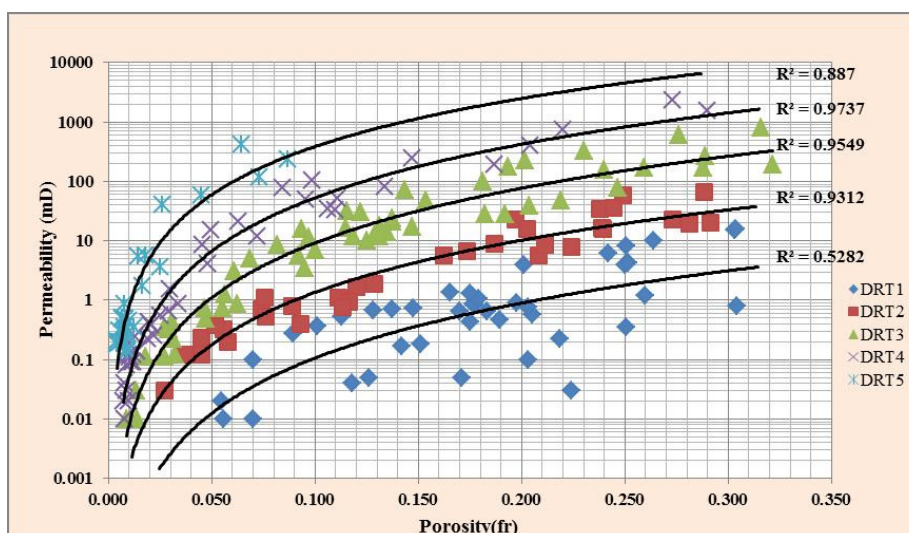
بازه لگاریتم شاخص زون جریان و مقادیر میانگین تخلخل و تراوایی برای هر یک از واحدهای جریانی در جدول ۱ آورده شده است. برای شناسایی واحدهای جریان آبی، پتانسیل مخزنی سازند بر پایه تخلخل و تراوایی مورد بررسی قرار می‌گیرد، چرا که مخازن کربناته بسیار زیر تاثیر فرآیندهای دیاژنزی هستند که هر رخساره می‌تواند هر نوع تخلخل و تراوایی را از خود نشان دهد (کخدایی و امینی، ۲۰۰۹). سپس در مرحله بعدی این پژوهش گونه‌های سنگی و مقادیر DRT برپایه نشانگر زون جریان (FZI)، و رابطه ۴ شناسایی گردید (جدول ۲). اختلاف اصلی بین گونه‌های سنگی، اثر متقابل سنگ-سیال در هر گروه پتروفیزیکی است. این اثر متقابل

جدول ۱. مقادیر Log(FZI) برای هر یک از واحدهای آبی جریان

HFU	Log (FZI)	Perm (mD)	Porosity (%)
HFU1	Log FZI<-0.28	4.607	14.436
HFU2	-0.28<Log FZI<0.08	10.650	10.159
HFU3	0.08<Log FZI<0.41	17.381	10.379
HFU4	41<Log FZI<1.500.0	54.610	6.636
HFU5	Log FZI>1.500	17.921	0.477

جدول ۲. مقادیر DRT برای هر یک از گونه‌های سنگی

DRT	DRT
DRT1	DRT<= 9
DRT2	10<=DRT<=11
DRT3	12<=DRT<=13
DRT4	14<=DRT<=15
DRT5	DRT>=16



شکل ۵. نمودار پخش تراوایی- تخلخل برای پنج گونه‌سنگی مربوط به مخزن سورمه بالایی



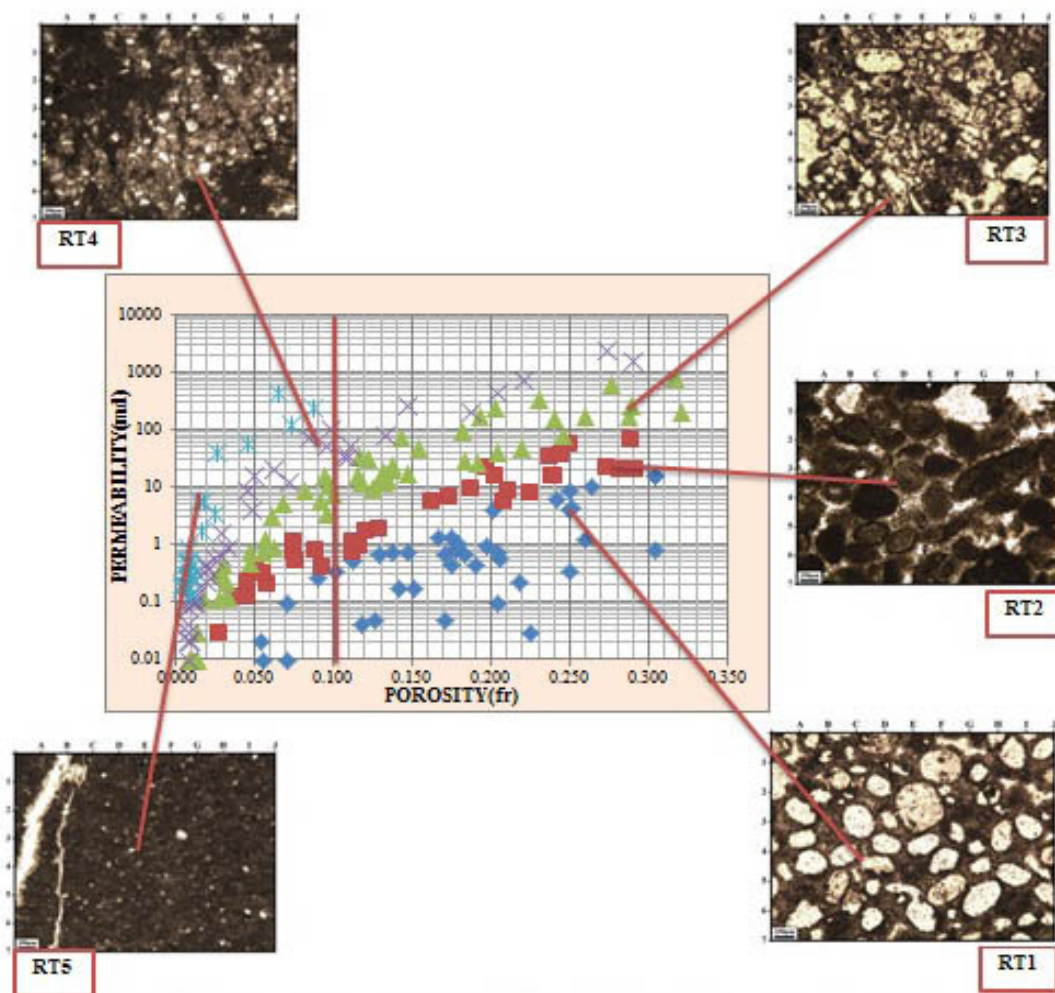
### ۳-۴- ارتباط بین گونه‌های سنگی ناپیوسته و رخساره‌های رسوبی

در این بخش سعی بر آن است که بین گونه‌های سنگی شناسایی شده برپایه واحدهای جریان و رخساره‌های رسوبی ارتباطی برقرار شود. یافتن رخساره رسوبی مناسب برای هرگونه سنگی به دلیل عملکرد فرآیندهای دیاژنری مانند انحلال یا سیمانی شدن کاری دشوار است (کدخدایی و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج بررسی سنگ‌نگاری بُرش‌نازک میکروسکوپی نمونه‌های مغزه برای شناسایی رخساره‌های رسوبی در سازند سورمه بالایی بررسی گردید (شکل ۶).

با توجه به نمودار ۵ می‌توان گفت مخزن سورمه بالایی به واحدهایی تقسیم شده است که همبستگی بین تخلخل و تراوایی در این واحدها به خوبی دیده می‌شوند و پنج سیستم حفره‌ای با ویژگی‌های پتروفیزیکی متفاوت در این مخزن را از هم جدا می‌نماید. در حالی که نمودار تخلخل و تراوایی مخزن بدون تقسیم‌بندی به واحدهای جریان، همبستگی خوبی را نشان نمی‌دهد.

در هر یک از گونه‌های سنگی مشخص شده، داده‌های تخلخل و تراوایی دارای یک روند مشخص و جدا از دیگر گونه‌های سنگی بوده و نشان‌دهنده مشابه بودن ویژگی‌های منافذ در هر یک از این واحدهای سنگی ناپیوسته است (جدیری‌آقایی و همکاران ۱۳۹۶).



شکل ۶. تصویرهای بُرش‌های میکروسکوپی برگزیده برای همبستگی با گونه‌های سنگی شناسایی شده برپایه واحدهای جریان: RT1- رخساره گریستون آئیدی با تخلخل قالبی. RT2- رخساره گریستون آئیدی اینتراکلاست‌دار. RT3- رخساره گریستون اینتراکلاست‌دار - بایوکلاست‌دار دولومیتی. RT4- رخساره وکستون اسکلتی با خرده‌های استراکود (F3) و اثرات بیوتوربیشن. RT5- رخساره وکستون اسکلتی با کمی خرده‌های اسکلتی، شکستگی و پرشدگی با انیدریت.



دارای تخلخل کم تا متوسط و تراوایی بالایی است و RT5 معادل واحد جریان آبی HFU5 دارای تخلخل کم و تراوایی خوب است.

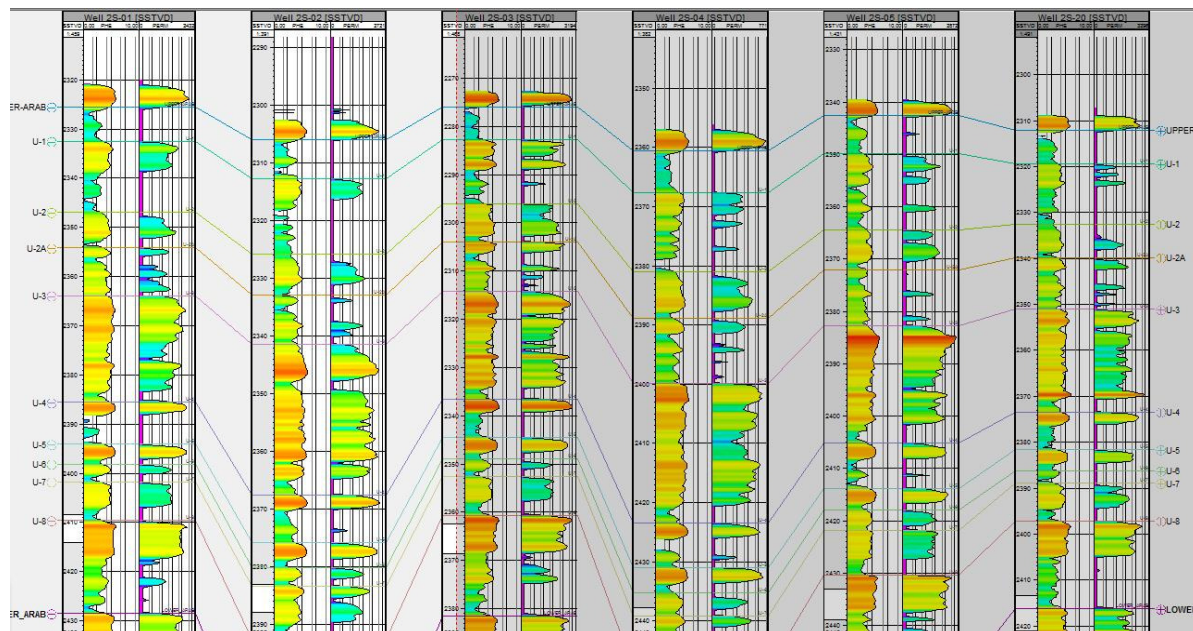
#### ۴-۴- مدل‌سازی و واکاوی آن

برای مدل‌سازی مخزن مورد بررسی باید داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز به شرح زیر به نرم‌افزار پترل وارد گردد:

- ۱- ورود اطلاعات موقعیت شش چاه و شناسایی مرزهای پروژه مورد بررسی.
- ۲- ورود اطلاعات مرتبط با سرسازندها (Well Tops).
- ۳- بارگذاری داده‌های نگارها (Well Logs).
- ۴- ورود داده‌های مرتبط با واحدهای آبی جریان و گونه‌های سنگی، این داده‌ها به صورت داده ناپیوسته<sup>۴</sup> و نگاره چاه<sup>۵</sup> وارد نرم‌افزار می‌گردد (شکل ۷).

رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در سازند سورمه بالایی به شرح زیر است:

- ۱: وکستون تا پکستون بیوکلاستی (دولومیتی)
  - ۲: پکستون تا گرینستون ائیدی/پلوئیدی دولومیتی شده
  - ۳: گرینستون بایوکلاستی / پلوئیدی دولومیتی شده
  - ۴: گرینستون اینتراکلاستی / ائیدی دولومیتی شده
  - ۵: گرینستون بایوکلاست / اینتراکلاست دولومیتی شده
- در ادامه با انتخاب یک حد مرزی روی نمودار پخش تخلخل در احتمال ۵۰٪ که برابر تخلخل ۱۰٪ است، گونه‌های سنگی به دو دسته کم تخلخل (کمتر از ۱۰٪) و پر تخلخل بیش‌تر از ۱۰٪ تفکیک شده‌اند (شکل ۶).
- برپایه این نمودار RT1 که معادل واحد جریان آبی HFU1 است، دارای تخلخل بالا و تراوایی پایین است. RT2 با تخلخل کم و تراوایی بیش‌تر نسبت به واحد جریان آبی HFU1 است و RT3 معادل با واحد جریان آبی HFU3 دارای تخلخل و تراوایی بالایی است. RT4



شکل ۷. نمایی از نگارهای تخلخل و تراوایی همراه با سرسازندها مربوط به چاه‌های مورد بررسی

داده‌های پتروفیزیکی انجام می‌گردد که این مرحله شامل مدل کردن واریوگرام‌ها در سه جهت اصلی، فرعی و عمودی است (شکل ۹). واریوگرام ابزار گرافیکی برای شناسایی مقدار همبستگی فضایی یک متغیر ناحیه‌ای است (اصغری و همکاران، ۱۳۹۱).

بعد از ورود داده‌ها، مخزن شبکه‌بندی<sup>۱</sup> شده، افق‌های بالا و پایین که در این بررسی سازندهای عرب بالایی و عرب زیرین این افق‌ها هستند، و لایه‌بندی<sup>۲</sup> با توجه به مقدار میانگین ستبرای هر زون<sup>۳</sup>، مشخص می‌گردد (شکل ۸). در مراحل بعدی آنالیز داده‌ها و تهیه مدل واریوگرام از

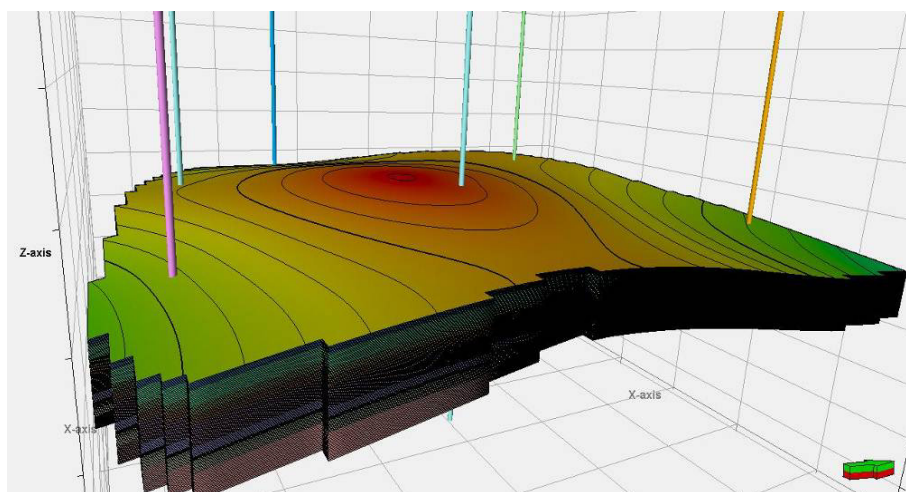
<sup>۴</sup> Discrete

<sup>۵</sup> log

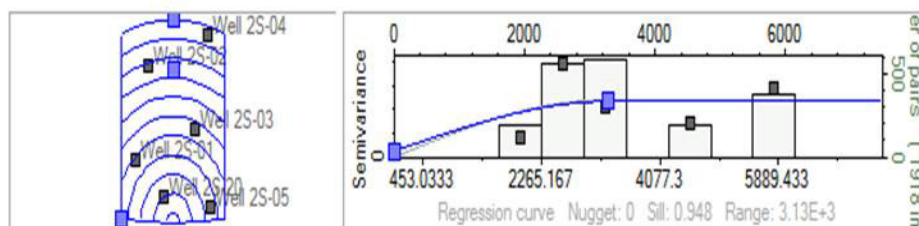
<sup>۱</sup> Pillar Gridding

<sup>۲</sup> layering

<sup>۳</sup> Mean



شکل ۸. نمایی سه‌بعدی از مخزن مورد بررسی بعد از لایه‌بندی زون‌ها



شکل ۹. نمودار واریوگرام واحدهای جریان آبی در جهت اصلی (Major)

زون‌های دارای کیفیت مخزنی بهتر در جدول ۴ آورده شده است:

با توجه به مقدار میانگین تراوایی و تخلخل بدست آمده برای هر کدام از گونه‌های سنگی (جدول ۵)، می‌توان گفت گونه‌های سنگی DRT3 و DRT4 بهترین کیفیت مخزنی و گونه‌های سنگی DRT1 و DRT2 و DRT5 پایین‌ترین کیفیت مخزنی را دارا هستند که پراکندگی و گسترش هر کدام از این پارامترها را می‌توان در تمامی زون‌ها (شکل ۱۰)، و مقاطع عرضی و طولی (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) آن‌ها دید.

بر پایه مدل تهیه شده سازند سورمه بالایی بطور کلی دارای کیفیت مخزنی مناسب است بطوری که پراکندگی گونه‌های سنگی با کیفیت مخزنی خوب در کل مخزن دیده می‌شود که این پراکندگی در هر زون به تفکیک نیز قابل دیدن است.

در بُرش طولی مخزن مورد بررسی، در بخش میانی گونه‌های سنگی DRT3 گسترش بیشتری دارد که نشان دهنده کیفیت مخزنی بهتری در این بخش از مخزن نسبت به سایر بخش‌ها است. از بخش باختر به خاور

مدل‌سازی سه‌بعدی گونه‌های سنگی با بهره‌گیری از خروجی مرحله واریوگرافی به روش همانندسازی شاخص متوالی انجام شد. برای همانندسازی متغیرهای ناپیوسته، روش همانندسازی شاخص متوالی به علت سادگی و انعطاف‌پذیری روش محبوبی است. در این مرحله گونه‌های سنگی شناسایی شده که فقط در محل چاه‌ها وجود داشتند، با بهره‌گیری از روش زمین‌آماري همانندسازی شاخص متوالی در درون تمامی سلول‌های یک شبکه سه‌بعدی قرار گرفتند.

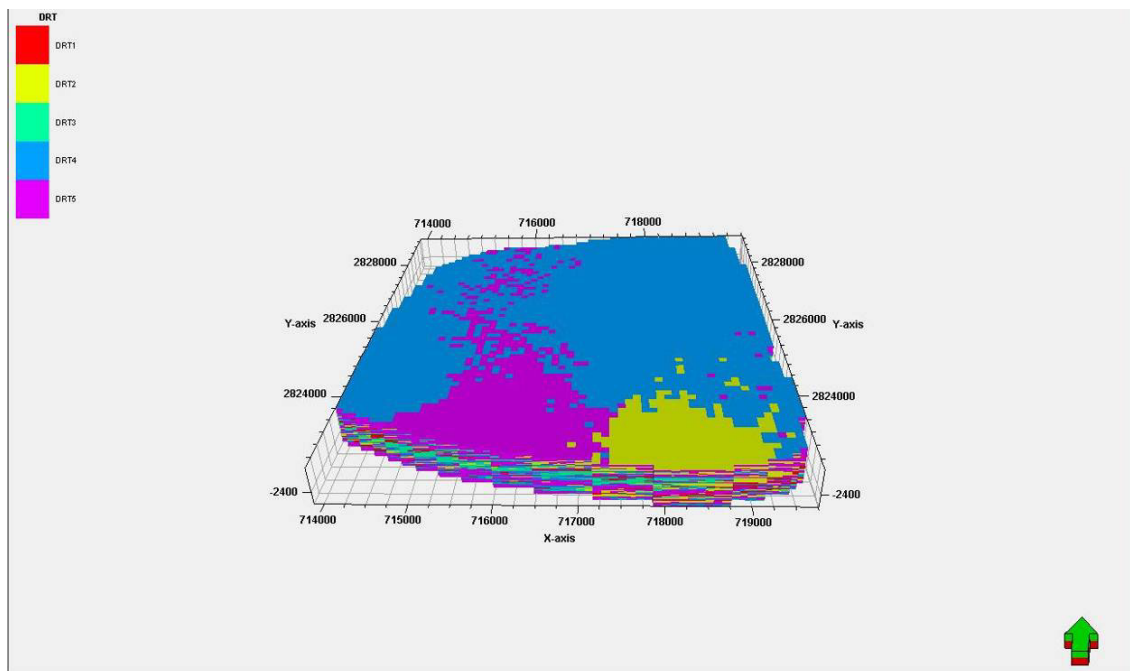
در مدل‌سازی انجام شده مخزن مورد بررسی به ده زون به شرح زیر تقسیم شد (جدول ۳):

پس از انجام تمامی مراحل بالا و میانگین‌گیری از تحقیق‌های<sup>۱</sup> انجام شده برای هر پارامتر در ده زون مخزن مورد بررسی، مدل سه‌بعدی گونه‌های سنگی ناپیوسته تهیه شد (شکل ۱۰) که می‌توان پخش این پارامترها را در کل میدان و در بُرش‌های طولی و عرضی آن دیده و بررسی نمود (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲). درصد هر یک از گونه‌های سنگی ناپیوسته (DRT) به منظور شناسایی

<sup>1</sup> Realization

به طور کلی شناخت چگونگی پخش گونه‌های سنگی در یک مخزن می‌تواند در جدایی مخزن به واحدهای متنوع با شرایط مخزنی متفاوت سودمند باشد و ناحیه‌ی مخزنی برتر در میدان را شناسایی نمود.

مخزن در این بُرش نیز کیفیت مخزنی بهتری دیده می‌شود. در بُرش عرضی مخزن مورد بررسی، در بخش جنوبی و باختری گونه‌های سنگی DRT3 و DRT4 با کیفیت مخزنی بالا گسترش دارند ولی در بخش میانی و خاور مخزن در این بُرش گونه‌های سنگی با کیفیت مخزنی پایین‌تری دیده می‌شود.



شکل ۱۰. مدل سه‌بعدی گونه‌های سنگی ناپیوسته در مخزن مورد بررسی

جدول ۳. تفکیک زون‌ها در مخزن مورد بررسی

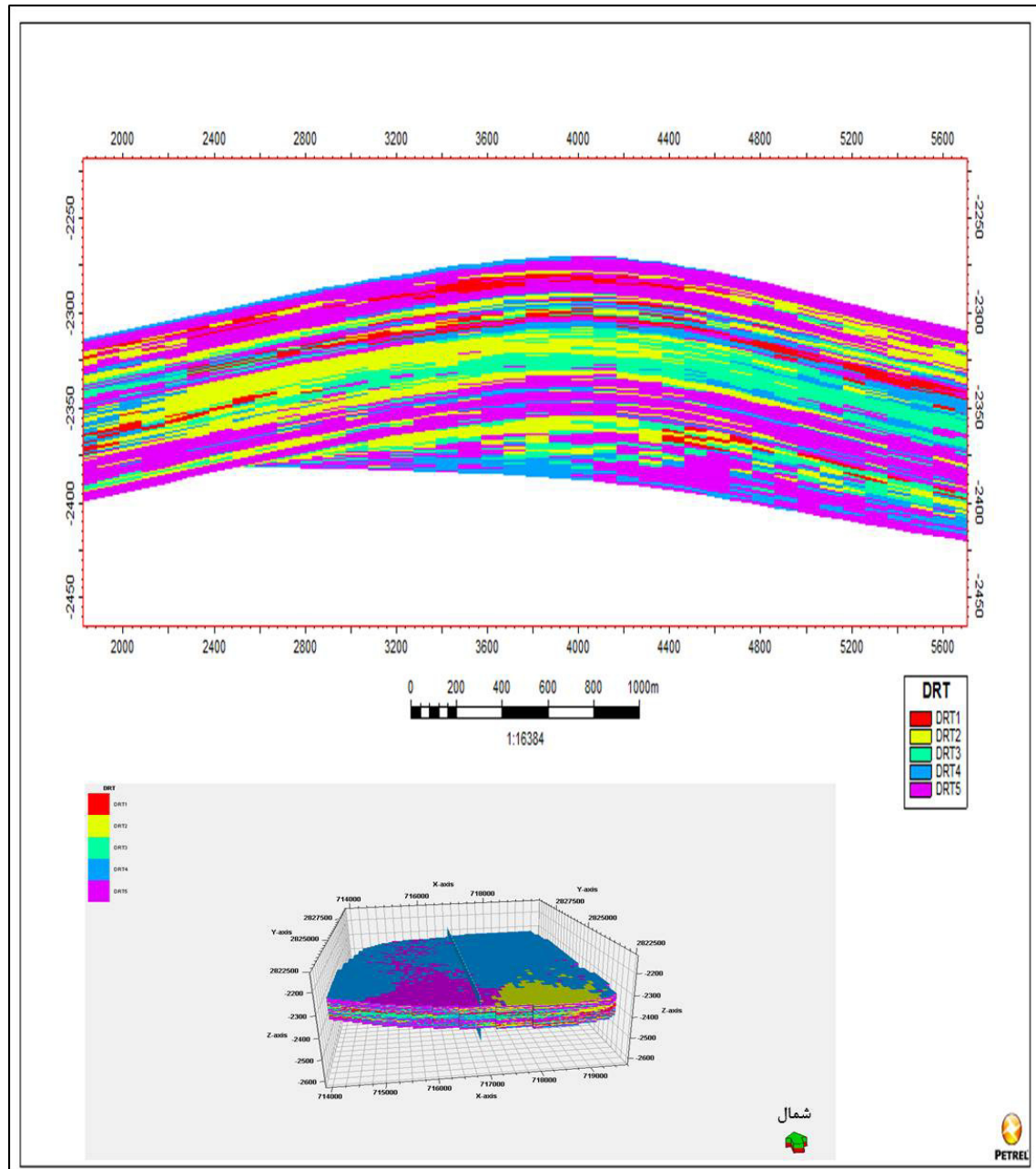
Zone	Formation
Zone1	Upper Arab – U1
Zone2	U1 – U2
Zone3	U2 - U2A
Zone4	U2A – U3
Zone5	U3 – U4
Zone6	U4 – U5
Zone7	U5 – U6
Zone8	U6 – U7
Zone9	U7 – U8
Zone10	U8 – Lower Arab

جدول ۴. درصد گونه‌های سنگی ناپیوسته در هر زون

Zone	DRT				
	DRT1	DRT2	DRT3	DRT4	DRT5
Zone1	0.0%	1.58%	0.01%	21.21%	77.20%
Zone2	5.77%	11.98%	5.12%	5.68%	71.44%
Zone3	5.86%	25.70%	14.25%	21.04%	33.15%
Zone4	6.21%	8.68%	20.12%	25.78%	39.2%
Zone5	18.92%	42.05%	21.99%	11.87%	5.18%
Zone6	12.09%	20.72%	4.83%	11.58%	50.78%
Zone7	2.68%	13.40%	6.47%	13.87%	63.58%
Zone8	0.0%	7.47%	12.97%	12.26%	67.30%
Zone9	1.96%	28.43%	14.81%	11.96%	42.85%
Zone10	14.85%	9.85%	13.8%	23.11%	39.01%

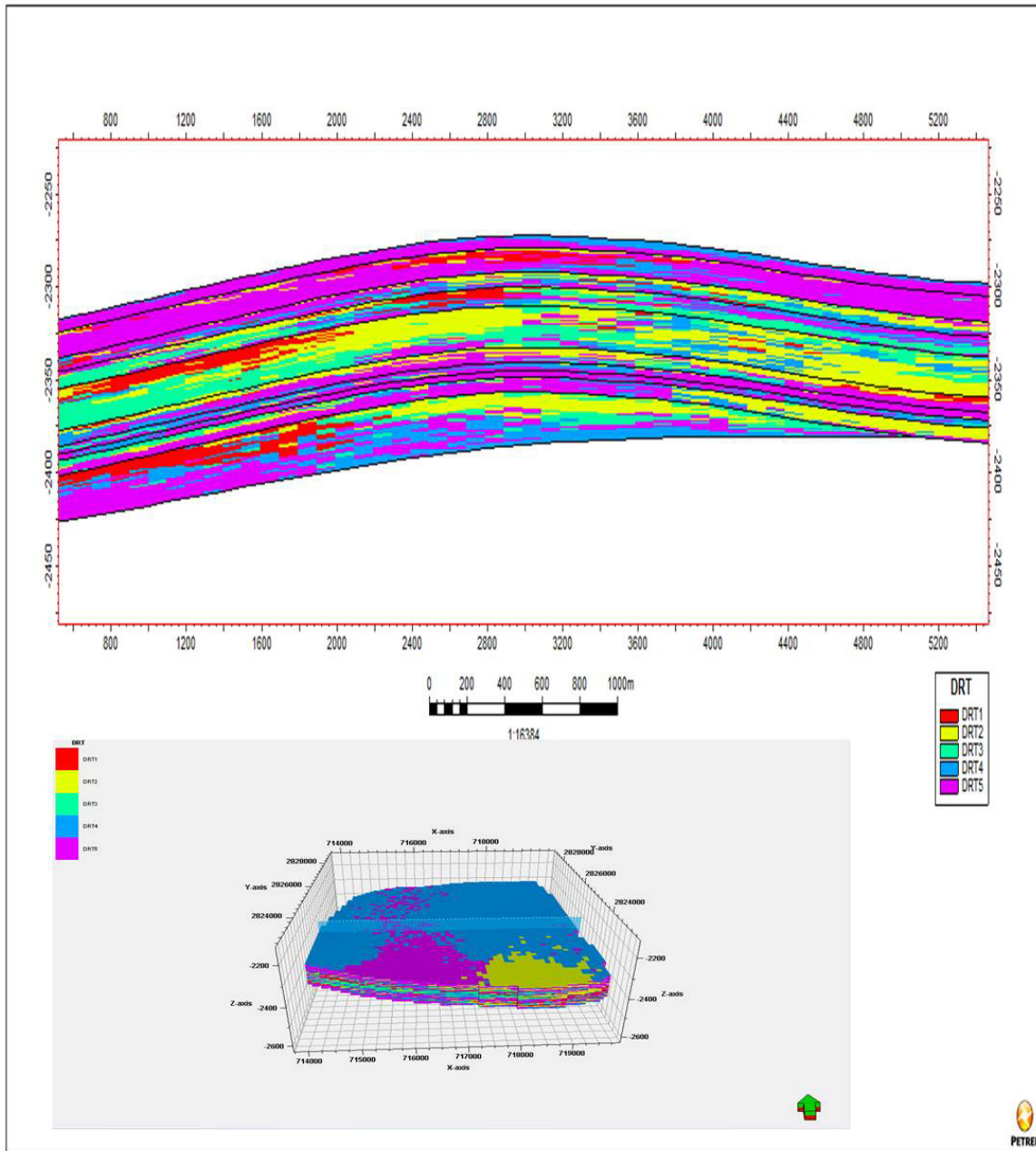
جدول ۵. میانگین تراوایی و تخلخل در هریک از گونه‌های سنگی ناپیوسته

DRT	DRT	Perm (mD)	Porosity (%)
DRT1	DRT<= 9	1.417	14.474
DRT2	10<=DRT<=11	6.733	11.983
DRT3	12<=DRT<=13	30.117	9.631
DRT4	14<=DRT<=15	84.890	7.147
DRT5	DRT>=16	30.032	1.275



شکل ۱۱. بُرش طولی از مدل سه‌بعدی گونه‌های سنگی ناپیوسته در مخزن مورد بررسی





شکل ۱۲. بُرش عرضی از مدل سه‌بعدی گونه‌های سنگی ناپیوسته در مخزن مورد بررسی

##### ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل‌سازی سه‌بعدی گونه‌های سنگی با بهره‌گیری از روش زمین‌آمار، روش کارآمدی برای توصیف گونه‌های سنگی پتروفیزیکی، انجام گرفت و به عنوان یک ابزار قدرتمند برای جداسازی بخش‌های مخزنی از غیر مخزنی در ژرفاهای مختلف بهره‌گیری شد و در پی آن گونه‌های سنگی با بهره‌گیری از روش نشانگر زون جریان (FZI) با دو روش آنالیز هیستوگرام و نمودار

احتمال نرمال  $\text{Log}(FZI)$  شناسایی شد مدل ساخته شده با روش‌های همانندسازی متوالی، با دقت بالا، پخش گونه‌های سنگی مختلف را در مخزن نشان می‌دهد. بر پایه یافته‌های این پژوهش:

- ۱- در مخزن مورد بررسی پنج گونه سنگی ناپیوسته بر پایه واحدهای آبی جریان شناسایی شد.
- ۲- با توجه به مقدار میانگین تراوایی و تخلخل به دست آمده برای هرکدام از گونه‌های سنگی ناپیوسته، گونه‌های سنگی DRT3 و DRT4 بهترین کیفیت

## منابع

- اصغری، ا. نصرت، ا (۱۳۹۱) زمین‌آمار و زمین‌شناسی نفت. انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت. تهران.
- امیدوار، آ. کمالی، م. ر.، کاظم‌زاده ع. ا (۱۳۹۲) شبیه‌سازی سه بعدی استاتیکی و تخمین پارامترهای مخزنی با به کارگیری روش‌های زمین‌آماری در یکی از مخازن ایران، پژوهش نفت، ۷۵، ۴۹-۵۷.
- امیرکافی، م (۱۳۹۳) تعیین واحدهای جریان‌ی هیدرولیکی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری هوشمند در میدان نفتی سلمان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه سمنان، ۱۴۷ ص.
- امین‌زاده، ع. میرجردوی، ن. نوری طالقانی، م (۱۳۹۲) مدل‌سازی استاتیکی مخازن نفت و گاز و تفسیر سائیزمیک با استفاده از نرم‌افزار Petrel. آزاده، ۳۰۴ ص.
- ایگدر، م (۱۳۹۴) تعیین گروه‌های سنگی با استفاده از مفهوم واحدهای جریان هیدرولیکی. چهارمین همایش علمی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی علوم و صنایع وابسته.
- جدیری‌آقایی، ر. رحیم‌پوریناب، ح. توکلی، و. کدخدایی ایلیخچی، ر. یوسف‌پور، م. ر (۱۳۹۶) بررسی واحدهای جریان‌ی و رخساره‌های الکتریکی در سازند میشریف (بخش بالایی سازند سروک) و برآورد ستبرای زون مخزنی در میدان نفتی سیری (خلیج فارس)، رسوب‌شناسی کاربردی، ۵ (۹)، ۸۶-۹۸.
- حسینی پاک، ع. ا (۱۳۸۹) زمین‌آمار، دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.
- خداویسی، م (۱۳۹۱) تجزیه و تحلیل الکتروفاسیس‌های مخزنی سازند سورمه (برمینای واحدهای جریان‌ی) و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در یکی از میادین نفتی در خلیج فارس، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه فردوسی مشهد ۶۹ ص.
- دوستی‌ایرانی، ر. کدخدایی، ع. پیروی، م. کریمی، م. ر. دوستی‌ایرانی، م (۱۳۹۴) مدل‌سازی سه‌بعدی زمین‌شناسی دو زون در بخش شرقی میدان نفتی اهواز، ۹، ۲۲-۳۳.
- ربانی، ا. ر (۱۳۹۲) زمین‌شناسی و ژئوشیمی نفت خلیج‌فارس، دانشگاه تفرش، ۵۷۶ ص.
- سلیمانی، ب. مرادی، م. غبیشاوی، ع (۱۳۹۵) بررسی کیفیت مخزن بنگستان با استفاده از رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریان‌ی در میدان منصوری، جنوب غرب ایران، زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۲۲، ۲۲-۳۴.
- غلامی، ر. سلیمانی، ب. خواجهی، س (۱۳۹۵) تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از روش‌های مخزنی و گونه‌های سنگی DRT1 و DRT2 و DRT5 ناپیوسته را دارا هستند.
- ۳- با بررسی‌های سنگ‌نگاری بر روی بُرش‌نازک نمونه‌های مغزه مخزن مورد بررسی، پنج رخساره رسوبی شناسایی شد.
- ۴- با اجرای مدل سه‌بعدی، پراکندگی گونه‌های سنگی ناپیوسته در کل مخزن مورد بررسی نشان داده شد.
- ۵- در بُرش طولی مخزن در مدل، در بخش میانی گونه‌های سنگی DRT3 گسترش بیش‌تری دارد که هم‌ارز زون Zone 5 (واحدهای U3 تا U4) است.
- ۶- از بخش باختر به خاور مخزن مورد بررسی در بُرش طولی، گونه‌های سنگی ناپیوسته با کیفیت مخزنی خوب دیده شد.
- ۷- در بُرش عرضی مخزن و در بخش جنوبی و باختری آن گونه‌های سنگی DRT3 و DRT4 گسترش بیش‌تری دارند.
- ۸- در بُرش عرضی مخزن، پخش گونه‌های سنگی ناپیوسته با کیفیت مخزنی کمتر در بخش مرکزی و خاوری پراکنده است.
- و هم‌چنین به طور کلی: از میان روش‌های آماری ارزیابی واحدهای جریان‌ی، آنالیز احتمال نرمال به دلیل مشخص بودن نقاط عطف در منحنی مربوطه نسبت به روش هیستوگرام از کارکرد بهتری برخوردار است.
- ۹- می‌توان با مدل‌سازی گونه‌های سنگی ناپیوسته پخش DRTها را در مخزن نشان داد.
- ۱۰- هم‌چنین می‌توان به برآوردی از ویژگی‌های مخزنی، در مناطقی که داده‌های کافی وجود ندارد، دست یافت.
- ۱۱- می‌توان به درک بهتر و دقیق‌تری از ساختار، ژرفا و گسترش لایه‌های مخزنی دست یافت.
- ۱۲- با درک ژرف از چگونگی پخش و گسترش گونه‌های سنگی، می‌توان پایه مناسبی را برای ساخت مدل پویا، برای منطقه‌بندی مخزن از نظر کیفیت و پتانسیل مخزن، ایجاد کرد.
- ۱۳- می‌توان به زون‌بندی مناسب مخزن از نظر پتانسیل و کیفیت مخزنی دست یافت.



- Beigi, M., Jafarian, A., Javanbakht, M., Wanas, H. A., Mattern, F., Tabatabae, A (2017) Facies Analysis, Diagenesis and Sequence Stratigraphy of the Carbonate-Evaporite Succession of the Upper Jurassic Surmeih Formation: Impacts on Reservoir Quality (Salman Oil Field, Persian Gulf, Iran), *Journal of African Earth Science*, 129: 179-194.
- Beiranvand, B., Kamali, M. R (2004) Petrophysical Evaluation and Determination of Rock Types in a Carbonate Reservoir in SW Iran with Interpretation of Petrography and Geophysical Well Logs, *Iranian Int. J. Sci.*, 5(2): 203-221.
- Davies, O. K., Vessell, R. K., David K., Davies & Associates (1996) Identification and Distribution of Hydraulic Flow Units in a Heterogeneous Carbonate Reservoir: North Robertson Unit, West Texas, SPE, 35183.
- Ebanks, W. J (1987) Flow Unit Concepts: Integrated Approach to Reservoir Description for Engineering Projects, *AAPG Bulletin*, 71(5).
- Gharechelou, S., Amini, A., Kadkhodaie, A., Hosseini, Z., Honarmand, J (2018) Rock Typing and Reservoir Zonation Based on the NMR Logging and Geological Attributes in the Mixed Carbonate-Siliciclastic Asmari Reservoir, *Geopersia*, 8 (1): 77-98.
- Gomes, J. S., Ribeiro, M. T., Strohmenger, C. J., Negahban, S., Kalam, M. Z (2008) Carbonate Reservoir Rock Typing – The Link between Geology and SCAL, SPE, 118284.
- Gunter G. W., Finneran, J. M., Hartmann, D. J. and Miller, J. D (1997) Early Determination of Reservoir Flow Units Using an Integrated Petrophysical Method, SPE, 38679.
- Kadkhodaie, A., Amini, A (2009) A Fuzzy Logic Approach to Estimating Hydraulic Flow Units from Well Log Data: A Case Study from the Ahwaz Oilfield, South Iran, *Petroleum Geology*, 32(1): 67-78.
- Kadkhodaie, A., Kadkhodaie, R (2018) A Review of Reservoir Rock Typing Methods in Carbonate Reservoirs: Relation between Geological, Seismic, and Reservoir Rock Types, *Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 7(4): 13-35.
- Mirzaei-Paiaman, A., Ostadhassan, M., Rezaee, R., Saboorian-Jooybari, H., Chen, Z (2018) A New Approach in Petrophysical Rock Typing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 166: 445-464.
- Osario, P. O (2009) Rock Types and Flow Units in Static and Dynamic Reservoir Modeling: Application to Mature Fields, SPE, 122227.
- Porras, J. C., Barbato, R., Khazen, L (1999) Reservoir Flow Units: A Comparison Between Three Different Models in the Santa Barbara
- مختلف در سازند کربناتی ایلام واقع در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران، اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۴۲، ۶۰-۶۵.
- کدخدایی ایلخچی، ر.، نوری، ب (۱۳۹۵) سامانه روزنه‌ها در ارتباط با ویژگی‌های مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان در میدان لاوان واقع در جنوب خاوری خلیج فارس، رسوب‌شناسی کاربردی، ۴ (۸)، ۱۰-۱.
- کدخدایی، ع (۱۳۹۷) ارزیابی سازندهای نفت‌دار، تهران، دایره دانش، ۵۵۲ ص.
- مصدق، ح.، فتاحی، ا.، هنرمند، ج (۱۳۹۵) استفاده از روش‌های نشانگر زون جریانی و وینلند در ارزیابی مخزن آسماری در یکی از میادین نفتی، بخش شمالی فروافتادگی دزفول، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم-زمین.
- Abbaszadeh, M., Fujii, H., Fujimoto, F (1996) Permeability Prediction by Hydraulic Flow Units - Theory and Applications, *SPE Formation Evaluation*. 11(4).
- Abedini, A (2011) Statistical Evaluation of Reservoir Rock Type in a Carbonate Reservoir, SPE, 152359.
- Acosta, L (2005) Reservoir Study V9 of El Furrial Field, Venezuela, SPE, 95047.
- Al-Ajmi, A. and Holditch, S. A (2000) Permeability Estimation Using Hydraulic Flow Units in a Central Arabia Reservoir, SPE, 63254.
- Al-Barwani, H. H., Al-Lawatia, M., Balakrishnan, E. and Purnama, A (2000) Modeling Flow and Transport in Unsaturated Porous Media: A Review, *Science and Technology*, Sultan Qaboos University, Special Review: 265-280.
- Ali-Nandalal, J. and Gunter, G (2003) Characterizing Reservoir Performance for the Mahogany 20 Gas Sand Based on Petrophysical and Rock Typing Methods, SPE, 81048.
- Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D. G., Keelan, D. K (1993) Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells, SPE, 26436.
- Aplin, G. F (2002) New Insights from Old Data: Identification of Rock Types and Permeability Prediction within a Heterogeneous Carbonate Reservoir Using Diplog and Openhole Log Data, SPE, 78501.
- Archi, G. E (1950) Introduction to Petrophysics of Reservoir Rocks, *AAPG Bulletin*, 34(5).
- Bagheripour, M., Shabaninejad, M. and Afsari, Kh (2011) A Permeability Predictive Model Based on Hydraulic Flow Unit for one of Iranian Carbonate Tight Gas Reservoir. SPE, 142183.

- and Pirital Fields, North Monagas Area, Eastern Venezuela Basin, SPE, 53671.
- Rahimpour-Bonab1, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Izadi-Mazidi, E (2012) Flow Unit Distribution and Reservoir Modeling in Cretaceous Carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 35(3): 213-236.
- Rushing, J. A., Newsham, K. E., Blasingame T. A (2008) Rock Typing - Keys to Understanding Productivity in Tight Gas Sands, SPE, 114164.
- Slumberger (2008) Petrel Introduction Course, Petrel, 555pp.
- Skalinski, M. and Kenter, J. A. M (2014) Carbonate Petrophysical Rock Typing: Integrating Geological Attributes and Petrophysical Properties while linking with Dynamic Behavior, Geological Society, London, Special Publications Online First.
- Sokhal, A (2016) Rock Type and Permeability Prediction using Flow Zone Indicator with an application to Berkine Basin (Algerian Sahara), SEG International Exposition and 86th Annual Meeting, 3068- 3072.
- Taghavi, A. A., Mørk, A., Kazemzadeh, E (2007) Flow Unit Classification for Geological modeling of a Heterogeneous Carbonate Reservoir: Cretaceous Sarvak Formation, Dehloran Field, SW Iran, *Petroleum Geology*, 30(2): 129-146.
- Tavakoli, V (2018) Geological Core Analysis, Springer Briefs in Petroleum Geoscience & Engineering, 85-99.
- Tiab, D., Donaldson, E (2012) Petrophysics, Third edition. Gulf Professional Publishing, Pp. 120-128.